

"Новые информационные технологии в образовании"/ О.В.Рябухин, А.Е.Емельянов. – Екатеринбург, 2016 г. С.322-324.

2. Центр данных фотоядерных экспериментов Московского государственного университета. URL: <http://cdfc.sinp.msu.ru/index.ru.html>

УДК 621.3.082-529

А. С. Соснин, М. Ю. Черноскотов

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ТВЕРДОФАЗНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В ШИРОКОМ
ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР**

*Соснин Александр Сергеевич
salexandr18@gmail.com*

*Черноскотов Михаил Юрьевич
mikhail.chernoskutov@gmail.com*

*ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»,
Россия, г. Екатеринбург*

**HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR MEASURING ELECTRICAL RESISTANCE
OF SOLID-PHASE METALS AND ALLOYS IN A WIDE TEMPERATURE RANGE**

*Sosnin Alexandr Sergeevich
Chernoskutov Mikhail Yurievich*

Russian State Vocational Pedagogical University, Russia, Yekaterinburg

Аннотация. *Статья посвящена разработке программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего измерение электрического сопротивления хороших проводников электричества в диапазоне температур от комнатных до температуры плавления в автоматическом режиме.*

Abstract. *The article is devoted to the development of the device for measuring electrical resistance of good conductors at temperatures ranging from room temperature to the melting point in automatic mode.*

Ключевые слова: *Электрическое сопротивление, твердофазный материал, четырехзондовый метод, закон Ома, аналого-цифровое преобразование сигналов.*

Keywords: *Electrical resistance, solid phase material, four-probe method, Ohm's law, ADC.*

Введение

Измерения электрического сопротивления материалов имеют большие практические значения. Выбор способа измерения зависит от условий проведения измерений. Измерения могут проходить при различных температурах, давлениях. Также выбор зависит от особенностей исследуемого вещества, его формы, структуры, агрегатного состояния. Измеряемые сопротивления можно условно разделить на две группы: высокоомные и низкоомные. Вследствие чего возникли различные методы измерения сопротивления, пригодные для тех или

иных сопротивлений. Часть методов базируется на законе Ома, а часть методов на установленных взаимосвязях между сопротивлением и прочими свойствами вещества. Такие взаимосвязи вытекают из решения кинетических уравнений.

Целью настоящей работы является создание установки, для измерения удельного электросопротивления металлических проводников в диапазоне температур 300-2000 К.

Все методы измерения подразделяют на две группы: контактные и бесконтактные.

Наиболее распространенными являются контактные методы, в которых образец непосредственно подключен к контактам измерительных приборов. Эти методы основаны на законе Ома. Основное требование для применения контактных методов является то, что сопротивление образца должно во много раз превышать сопротивление контактов и прочих элементов измерительной аппаратуры. Рассмотрим наиболее распространённые методы.

Метод амперметра вольтметра

Этот метод является наиболее распространенным и простым в применении, но также является наименее точным. Этому методу присуща систематическая погрешность. Существует две схемы включения приборов, представленные на рисунке 1.

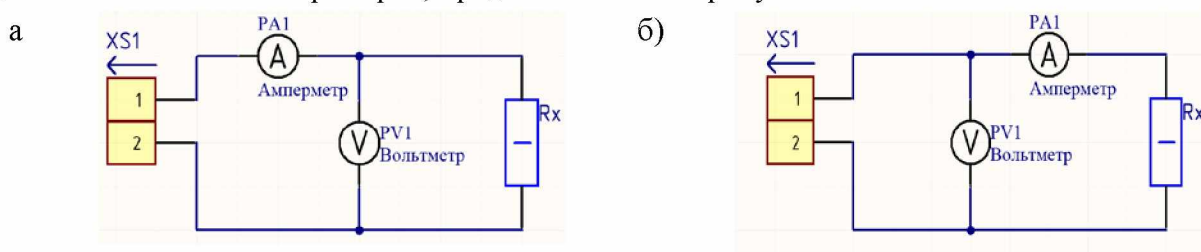


Рис. 1. Варианты включения вольтметра и амперметра.

При применении схемы (рис. 1, а) происходит правильное измерение напряжения, но неверно измеряется сила тока, так она равна сумме сил токов протекающих через вольтметр и образец. При применении второй схемы включения (рис. 1, б) неверным происходит измерение напряжения. Использование второй схемы больше пригодна для измерений больших сопротивлений, а первая для малых. Расчет R_x в обоих случаях происходит по следующей формуле, вытекающей из закона Ома:

$$R_x = U/I,$$

где I - показание амперметра (PA1), U - показание вольтметра (PV1).

Стоит отметить, что точность результата измерений зависит от стабильности напряжения в измерительной цепи.

Мостовой метод.

Мостовой метод также является распространенным методом измерения электрического сопротивления. Мостовая схема состоит из источника напряжения, гальванометра, четырех резисторов: R_1 , R_2 , R_3 и неизвестного сопротивления R_x . Гальванометр подключается к XS2, а источник питания к разъему XS1. Сопротивления R_1, R_2, R_3 подбираются таким образом, чтобы при замыкании ключа SA1, показания гальванометра были равны нулю (такой мост называют уравновешенным). В этом случае неизвестное сопротивление вычисляется по формуле 1:

$$R_x = (R_1/R_2)R_3 \quad (1)$$

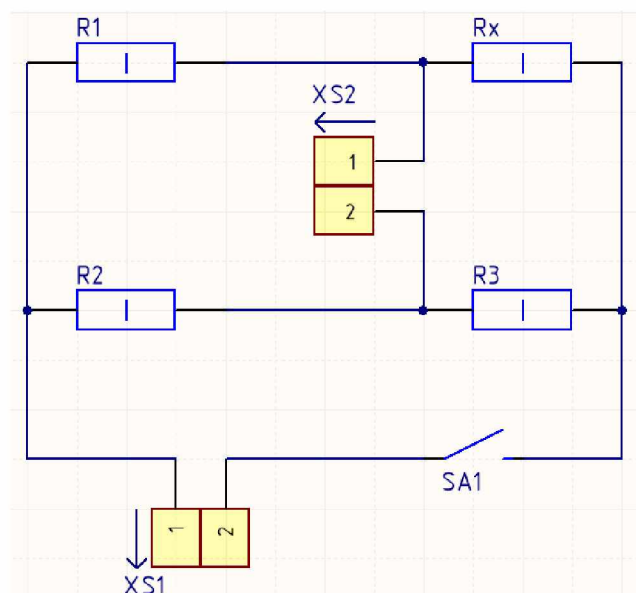


Рис. 2. Мостовая схема.

Преимущество мостовой схемы - независимость результата от стабильности источника тока.

Минусом рассмотренных методов является то, что при измерении малых электрических сопротивлений образцов, возникает ошибка обусловленная наличием сопротивлений подводящих проводов и контактных соединений.

Четырехзондовый метод.

Метод является также достаточно распространенным. Помимо того, что он обладает высокими метрологическими показателями, он также позволяет исключить из измерений паразитные ЭДС, путем смены направления тока во время измерения.

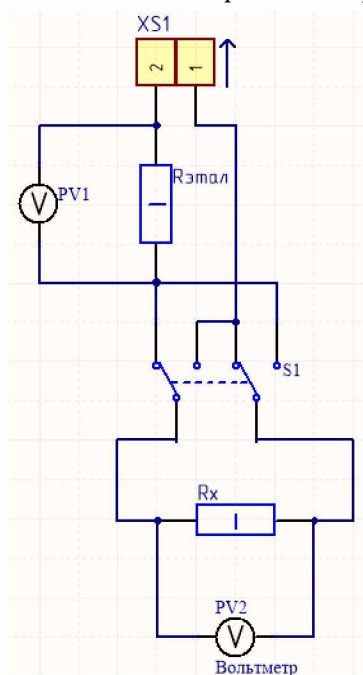


Рис. 3. Схема подключения при четырехзондовом методе

Схема включения приборов состоит из следующих элементов: источник тока, ключа, вольтметр, соединительных проводов и четырех зондов(контактов к образцу).

При измерении тока и напряжения, происходит снятие показаний с вольтметра два раза: при пропускании тока по часовой U_1 и против часовой U_2 стрелки. Сила тока рассчитывается путем измерения сопротивления на эталонном сопротивлении. Изменение направления течения тока осуществляется ключом S_1 .

Сопротивление вычисляется по следующей формуле 2:

$$R_{обр} = \frac{U_1 - U_2}{\frac{U_{1этл}}{R_{этл}} + \frac{U_{2этл}}{R_{этл}}} \quad (2)$$

где $R_{обр}$ – сопротивление образца, $R_{этл}$ – сопротивление эталонного сопротивления, U_1 и U_2 – падение напряжения на образце, а $U_{1этл}$ и $U_{2этл}$ – падения напряжения на эталонном сопротивлении, при пропускании тока по часовой и против часовой стрелки.

Бесконтактные методы

Применение таких методов целесообразно в тех случаях, когда сопротивление контактов соизмеримо с сопротивлением образца или нет возможности установить надежный контакт. Такие методы применяются для исследования сопротивления порошков, спрессованных брикетов и других мало прочных образцов.

Метод вихревых токов

Этот метод основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов (токи Фуко), наводимых в образце источником электромагнитного поля. Источником электромагнитного поля обычно является индуктивная катушка с ферритовым тороидальным сердечником. Переменный синусоидальный ток приложенный к катушке, создает электромагнитное поле, которое в свою очередь возбуждает вихревые токи в исследуемом образце. Вихревые токи возбужденные в образце в свою очередь создают свое электромагнитное поле которое воздействует на источник электромагнитного поля наводя в нем ЭДС или меняя электрический импеданс источника поля.

Диапазон измеряемых значений варьируется от 0,001 до 200 Ом. Образец помещается в разрыв сердечник катушки индуктивности. Для проведения измерений частота тока приложенного к катушке должна обеспечивать проникновение ВЧ поля на глубину, в 5-6 раз превышающую толщину образца. При помещении образца в разрыв сердечника вызывает изменение индуктивности и сопротивление катушки. Связь сопротивления и индуктивности катушки и сопротивления образца может быть рассчитана лишь в некоторых случаях. Чаще всего ее находят экспериментально или используют эталонные образцы с известными характеристиками.

Выбор метода

Использование бесконтактных методов, дает большую погрешность измерения абсолютного электрического сопротивления, чем применение контактных. Также технически бесконтактные методы являются намного более сложными в применении, чем контактные методы. По этим причинам было решено отказаться от бесконтактных методов в пользу контактных. Контактные методы так же не лишены недостатков. Мостовой метод не позволяет с большой точностью измерять малые сопротивления, метод амперметра-вольтметра также не обеспечивают высокую точность, так как погрешность будут вносить сразу два прибора. Наш выбор пал на четырехзондовый метод. Данный метод позволяет получить довольно точные результаты измерений. Изменение направления тока позволяет избегать погрешностей вызываемых

паразитными ЭДС. Зонды, привариваемые к образцу, возможно изготовить в виде термопар и использовать их для измерения температуры образца.

Комплекс для измерения электрического сопротивления

Для измерения электросопротивления в широком диапазоне температур в Межотраслевом центре высокотемпературных теплофизических исследований конденсированных материалов был разработан экспериментальный комплекс, структурная схема которого представлена на рис. 4.



Рис. 4. Структурная схема экспериментального комплекса.

Комплекс состоит из следующих компонентов:

1. Высокотемпературная камера, в которой располагается исследуемый образец.
2. Систему вакуумирования, необходимую для откачки воздуха из камеры, которая предотвращает окисления исследуемого образца при высоких температурах. Давление может достигать 0,00133 Па.
3. Систему заправки газа, предназначенную для создания в камере избыточного давления. В качестве рабочих газов используются инертные газы, в частности гелий. Данная система может создавать избыточное давление до 506 кПа. (3800 мм рт. ст.). Нагреватель, используемый для нагрева исследуемого образца, представляет собой электрическую печь сопротивления косвенного действия. Нагревательный элемент изготовлен из молибдена. Возможная максимальная температура нагрева – 2000 К.
4. Измерительное оборудование, используемое для контроля исследуемых параметров – электрического сопротивления и температуры.

Разработка модулей для измерения температуры и электрического сопротивления

Для измерения электрического сопротивления веществ и материалов в широком диапазоне температур был разработан ряд специальных модулей, который позволяет в автоматическом режиме производить измерения и контролировать температуру исследуемого образца (см. рис. 5).

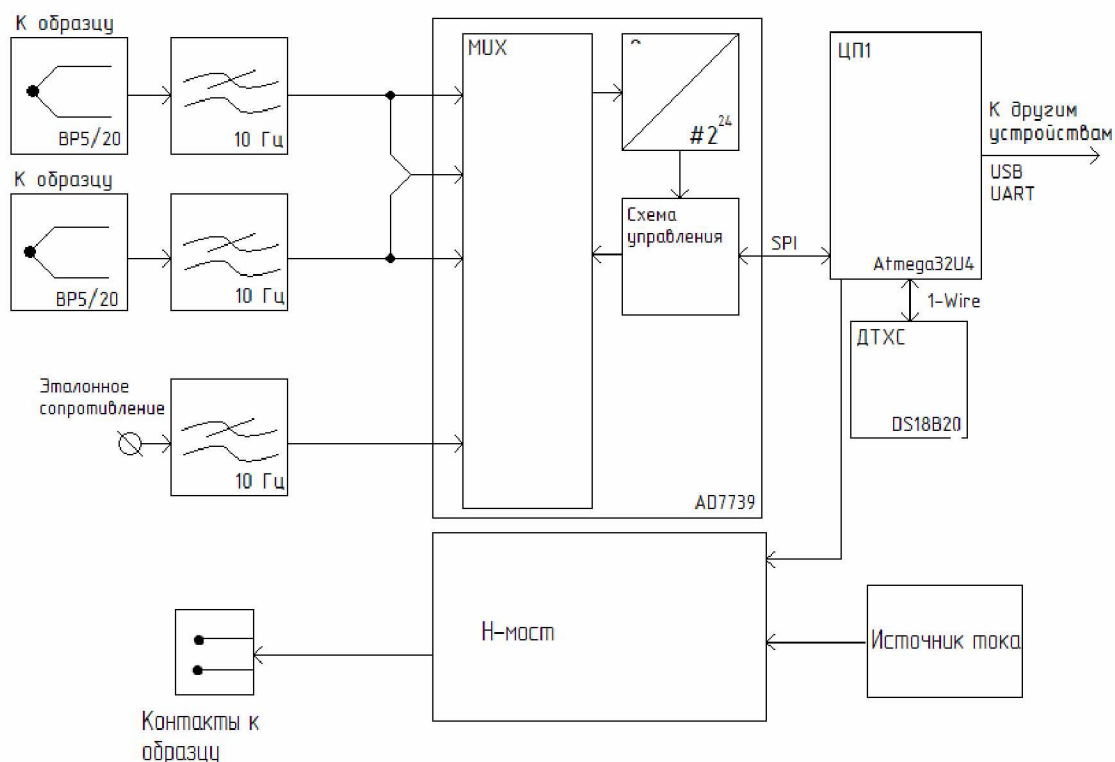


Рис. 5. Функциональная схема устройства измерения температуры и электросопротивления

Первый модуль представляет собой высокоточный АЦП с четырьмя дифференциальными входными каналами. К первому каналу АЦП подключаются потенциальные контакты эталонного сопротивления. К остальным каналам подключаются термопары, которые одновременно измеряют падение напряжения на образце и его температуру. Для фильтрации шумов, поступающих от термопар, применяется ФНЧ (фильтр нижних частот). Термо-ЭДС возникает не только на измерительном конце термопары, но и в местах соединения любых разных металлов и спаев. Поэтому реальная измеряемая величина термо-ЭДС термопары суммируется с термо-ЭДС ее концов, которыми она соединена с прибором. Все эти паразитные ЭДС зависят от температуры окружающей среды, вследствие чего их невозможно скомпенсировать постоянно подобранным потенциалом, компенсация должна быть переменная и привязана к температуре окружающей среды. Для измерения температуры холодного спая используется полупроводниковый цифровой термометр DS18b20. Он обеспечивает точность измерения $\pm 0,5^\circ\text{C}$ в диапазоне от -10°C до $+85^\circ\text{C}$. Данные с модуля АЦП и DS18B20 передаются по средствам SPI и 1-WIRE соответственно на однокристальную микро-ЭВМ, где обрабатываются и по протоколу USB отправляются на компьютер.

Н – мост.

В качестве ключа в нашей схеме используется Н-мост. Он обеспечивает изменение направления течения тока в образце для исключения паразитных ЭДС, возникающих в нем. Управление модулем осуществляет микро-ЭВМ. Принципиальная электрическая схема Н моста представлена на рисунке 6.

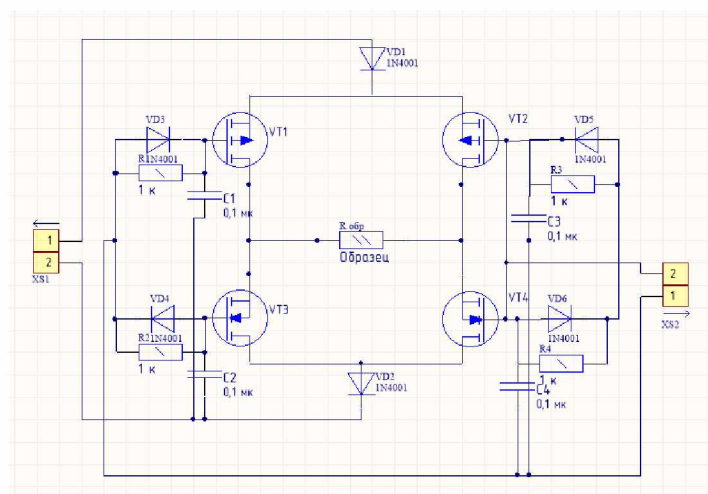


Рис. 6. Принципиальная схема Н-моста

Н-мост представляет собой электронную схему, которая позволяет изменять направление тока протекающего через образец. Мост состоит из четырех ключей выполненных на полевых транзисторах VT1, VT2, VT3, VT4. Управление ключами осуществляется через диоды и RC цепочки. Управление полевыми транзисторами при помощи такой цепочки позволяет плавно открывать и мгновенно закрывать транзисторы. Это позволяет избежать короткого замыкания при смене полярности тока протекающего через образец. К входу XS1 подключается источник тока, а через XS2 происходит управление Н-мостом.

Ячейка для измерения удельного электрического сопротивления при комнатной температуре

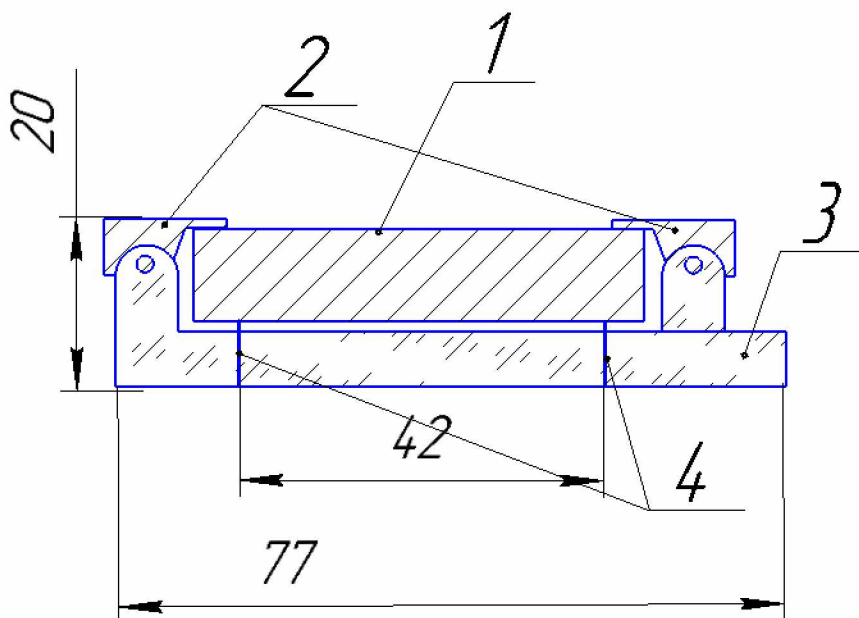


Рисунок 7- Чертеж ячейки измерения электрического сопротивления при комнатной температуре

Измерительная ячейка состоит из прижимных токовых контактов (2), один из которых является подвижным, основы из диэлектрического материала (3) и токосъемных контактов (4). К контактам (4) подключается АЦП. Измерение проходит следующим образом: на контакты

(2), между которыми зажимается исследуемый образец (1), подается ток с Н-моста, с контактов (4), выполненных из бритвенных лезвий, снимается напряжение при помощи АЦП.

Расчеты удельного сопротивления.

Искомая величина сопротивления образца находится путем расчета ее по формуле 3, ток в цепи находится путем измерения падения напряжения на эталонном сопротивлении, включенном в цепь по формулам 4. Подставляя в формулу 3, формулы 4, получим общую формулу 5 для расчетов.

$$R_{\text{измер}} = \frac{U_1 - U_2}{I_1 + I_2} \quad (3)$$

$$I_1 = \frac{U_{I1}}{R_{\text{эталон}}}; I_2 = \frac{U_{I2}}{R_{\text{эталон}}} \quad (4)$$

$$R_{\text{измер}} = \frac{U_1 - U_2}{\frac{U_{I1}}{R_{\text{этал}}}} + \frac{U_{I2}}{R_{\text{этал}}} = \frac{U_1 - U_2}{\frac{U_{I1} + U_{I2}}{R_{\text{этал}}}} = \frac{(U_1 - U_2)R_{\text{этал}}}{U_{I1} + U_{I2}} \quad (5)$$

Расчет погрешностей:

1) При измерении падения напряжения на образце и образцовом сопротивлении возникает погрешность прямых измерений, вызванная неточностью АЦП. Эта погрешность рассчитывается по формуле 6.

$$\frac{\delta R}{R} = \frac{\delta U_1 + \delta U_2}{U_1 - U_2} + \frac{\delta U_{I1} + \delta U_{I2}}{U_{I1} - U_{I2}} + \frac{\delta R_{\text{эталон}}}{R_{\text{эталон}}} \quad (6)$$

2) Во время расчета удельного сопротивления вещества (формула 7), из которого состоит образец, так же будут возникать погрешности прямых измерений, при нахождении его длины и площади поперечного сечения. Эти погрешности будут вносить измерительные приборы, которые будут использоваться при измерениях. Расчет погрешности производится по формуле 8.

$$\rho = R \frac{S}{l} \quad (7)$$

$$\frac{\delta \rho}{\rho} = \frac{\delta R}{R} + \frac{\delta S}{S} + \frac{\delta l}{l} \quad (8)$$

Абсолютная погрешность сопротивления образца: $\delta R = R \cdot 1.3\%$, площади сечения: $\delta S = S \cdot 2.1\%$, длины образца: $\delta l = l \cdot 0.07\%$. Тогда абсолютная погрешность удельного сопротивления: $\delta \rho = \rho \cdot 3.5\%$.

Знание величины погрешности позволяет оценить минимальное электрическое сопротивление проводника, при котором ошибка его определения будет находиться в рассчитанных выше пределах. Для данной установки это минимальное значение равно $50 \cdot 10^{-6}$ Ом.

Результаты измерения.

Результаты измерения удельного электросопротивления материала Ст3 (сталь) показали, что значение его удельного электросопротивления при комнатной температуре равно $(13.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-8}$ (Ом*м). Этот результат соответствует справочным значениям [2]. Следовательно, установка действительно обладает заявленными свойствами, и пригодна для исследования удельного электросопротивления металлов и сплавов.

Заключение.

Для измерения электрического сопротивления хороших проводников электричества (металлов и сплавов) было создана установка, реализующая четырех зондовый метод измерения

сопротивления. Созданная установка позволяет производить исследование образцов, сопротивление которых превышает $50 \cdot 10^{-6}$ Ом. Измерения могут проводиться как в вакууме, так и в атмосфере гелия высокой чистоты в диапазоне температур 293-2000К.

Список литературы

1. Драхсел Р. Основы электроизмерительной техники / Пер. с нем. Под ред. В. Ю. Кончаловского. — М.: Энергоиздат, 1982. — 269 с.
2. Енохович А.С. Краткий справочник по физике. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М : Высшая школа, 1976. — 288 с.
3. Бурков А.Т., Федотов А.И., Касьянов А.А., Пантелеев Р.И., Накама Т. Методы и устройства измерения термо-ЭДС и электропроводности термоэлектрических материалов при высоких температурах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2015. — Том 15. — № 2. — С. 173–195.

УДК 376.1-056.266:[371.31:004]

А. Р. Тавлыкаева, Т. Н. Варфоломеева

АДАПТИВНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Тавлыкаева Альбина Рафаэловна
bisy@list.ru

Варфоломеева Татьяна Николаевна
tani64@mail.ru

*ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Россия, г. Магнитогорск*

ADAPTIVE COMPUTER TECHNOLOGY FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

Tavlykaeva Albina Rafaelovna
Varfolomeeva Tatiana Nikolaevna

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, Magnitogorsk

Аннотация. В данной статье рассматривается одна из самых актуальных проблем мира – проблема социальной интеграции и адаптации людей с ограниченными возможностями здоровья. Описаны современные адаптивные технологии для людей с разными видами ограничений и возможные перспективы развития в данной сфере.

Abstract. This article discusses one of the most urgent problems of the world - the problem of social integration and adaptation of people with disabilities. The modern adaptive technology for people with different kinds of restrictions and possible prospects for development in this area.

Ключевые слова: адаптивные технологии, ИТ-технологии, люди с ОВЗ, ограниченные возможности здоровья (ОВЗ), инвалидность

Keywords: adaptive technologies, IT technologies, people with HIA, limited possibilities of health, disability